

管腔内密度衰减梯度评估合并心肌桥前降支与冠状动脉粥样硬化关系的研究

刘翔宇 所世腾 秦文彬 周炜 沈佳璐 严佳军 张欣伟 姚晨旭 路青

上海交通大学医学院附属仁济医院放射科 200127

通信作者:路青, Email: drluqingsjtu@163.com

【摘要】目的 探讨管腔内对比度衰减梯度(TAG)评估合并心肌桥前降支与冠状动脉粥样硬化斑块形成的关系。**方法** 回顾性分析2017年6月至2018年3月上海交通大学医学院附属仁济医院行冠状动脉CTA检查结果为前降支心肌桥的198例患者资料。患者均采用320排探测器CT行冠状动脉CTA检查。根据CTA上心肌桥表现将患者分为深埋型、浅表型心肌桥组,根据是否合并冠状动脉粥样硬化斑块,分为孤立性心肌桥组及心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块组,记录肌桥厚度、肌桥长度、肌桥所在冠状动脉斑块体积、桥前TAG值、桥后TAG值及两者的K比值。采用独立样本 t 检验(正态分布)或Mann-Whitney U 检验(偏态分布)比较不同组间计量资料数据的差异,采用 χ^2 检验比较不同组间计数资料的差异。采用Pearson相关性检验分析桥前TAG值、桥后TAG值、K比值、肌桥厚度、长度与斑块体积的相关性,并采用二元logistic回归分析上述指标对斑块发生的影响程度。采用ROC分析主要影响指标与斑块形成的关系。**结果** 孤立性心肌桥99例,心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块99例;心肌桥类型为浅表型27例,深埋型171例;粥样硬化斑块均发生于桥前,斑块平均体积 $(91.6 \pm 83.0) \text{mm}^3$ 。孤立性心肌桥组和心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块组患者的性别构成、年龄、身高、体重和体重指数差异均无统计学意义($P > 0.05$)。孤立性心肌桥组和心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块组患者的桥前TAG值差异有统计学意义($P < 0.05$),而桥后TAG值和K比值差异无统计学意义($P > 0.05$);浅表组与深埋组患者的桥前TAG值、桥后TAG值及K值差异均无统计学意义($P > 0.05$)。斑块体积和桥前TAG值、桥后TAG值及K比值间存在弱负相关(r 值分别为 -0.205 、 -0.316 、 -0.339 , P 值均 < 0.05)。桥前TAG值显著影响斑块形成($P = 0.014$),优势比为0.884(95%可信区间为0.801~0.976),而其他因素与斑块形成无显著影响($P > 0.05$)。桥前TAG值促进斑块形成的ROC下面积为0.582,当诊断临界值设为 -37.26HU/mm 时,桥前TAG值导致斑块形成的敏感度和特异度分别为31.31%和81.82%。**结论** 前降支桥前TAG值是斑块发生的独立危险因素,通过CTA检查能早期发现桥前TAG值异常。

【关键词】 冠状血管; 体层摄影术, X线计算机; 管腔内对比度衰减梯度; 心肌桥

基金项目:国家自然科学基金(81271638, 81371622);上海市科委浦江人才计划(15PJ1405200)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.06.003

Evaluating the relationship between myocardial bridge of the left anterior descending branch and atherosclerosis of coronary artery using transluminal attenuation gradient on CT

Liu Xiangyu, Suo Shuteng, Qin Wenbin, Zhou Wei, Shen Jialu, Yan Jiajun, Zhang Xinwei, Yao Chenxu, Lu Qing

Department of Radiology, Affiliated Renji Hospital of Shanghai Jiaotong University, School of Medicine, Shanghai 200127, China

Corresponding author: Lu Qing, Email: drluqingsjtu@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the relationship between concurrent myocardial bridge at anterior descending branch and the formation of coronary atherosclerosis plaques by using transluminal attenuation gradient (TAG). **Methods** A total of 198 patients underwent coronary CTA in Renji Hospital of Shanghai Jiaotong University School of Medicine from June 2017 to March 2018 and the results showed the anterior descending myocardial bridge. The data were retrospectively analyzed. All patients completed the

coronary CTA with 320-row detector CT. According to the manifestations of myocardial bridge on CTA, the patients were divided into deep and superficial myocardial bridge groups. According to whether the patients were complicated with coronary atherosclerotic plaques, they were divided into isolated myocardial bridge group and myocardial bridge with coronary atherosclerotic plaque group. The thickness and length of myocardial bridge, the volume of coronary atherosclerotic plaques at the site of myocardial bridge, the pre-bridge and post-bridge TAG values, and the K ratio were recorded. Independent sample *t* test (normal distribution) or Mann-Whitney *U* test (skewed distribution) was used to compare the difference of measurement data among different groups. χ^2 test was used to compare the difference of enumeration data among different groups. Pearson correlation test was used to analyze the correlation among pre-bridge and post-bridge TAG values, K ratio, thickness and length of myocardial bridge and plaque volume. The influence of above indexes on plaque occurrence was analyzed by binary logistic regression analysis. The relationship between main influence indexes and plaque formation was analyzed by receiver operating characteristic curve (ROC). **Results** Ninety nine patients had isolated myocardial bridge, 99 with myocardial bridge and coronary atherosclerotic plaques, 27 with superficial myocardial bridge and 171 with deep myocardial bridge. All atherosclerotic plaques occurred in pre-bridge and the mean volume of plaques was $(91.6 \pm 83.0) \text{mm}^3$. The differences in sex, age, height, body weight and body mass index were not statistically significant between isolated myocardial bridge group and myocardial bridge with coronary atherosclerotic plaque group (all $P > 0.05$). The difference in pre-bridge TAG value was statistically significant between the isolated myocardial bridge group and myocardial bridge with coronary atherosclerotic plaque group (all $P < 0.05$), but not statistically significant in post-bridge TAG value and K ratio (all $P > 0.05$). The difference in pre-bridge and post-bridge TAG values and K value was not statistically significant between the superficial group and the deep group (all $P > 0.05$). There was a weak negative correlation ($r = -0.205, -0.316, -0.339$, respectively, $P < 0.05$) between the plaque volume and pre-bridge & post-bridge TAG values and K ratio. The pre-bridge TAG value significantly affected the plaque formation ($P = 0.014$) and the odds ratio was 0.884 (95% CI 0.801 to 0.976). While other factors had no significant effects on plaque formation (all $P > 0.05$). The area under curve of plaque formation promoted by pre-bridge TAG value was 0.582. When the diagnostic critical value was -37.26HU/mm , the sensitivity and specificity of pre-bridge TAG value in plaque formation were 31.31% and 81.82%, respectively. **Conclusion** The TAG value of anterior descending bridge is an independent risk factor for plaque occurrence. The abnormal TAG value of anterior descending myocardial bridge can be detected early by CTA.

【Key words】 Coronary vessels; Tomography, X-ray computed; Transluminal attenuation gradient; Myocardial bridge

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (81271638, 81371622); Pujiang Talent Program of Shanghai Science and Technology Commission (15PJ1405200)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.06.003

冠状动脉性心脏病(简称冠心病)危害严重,引起冠状动脉粥样硬化的原因包括全身因素和局部因素。冠状动脉心肌桥指冠状动脉某段或其分支的某段走行于心肌纤维中,被形似桥的心肌纤维所覆盖,该心肌纤维束称为心肌桥(myocardial bridge, MB),该段冠状动脉称为壁冠状动脉(mural coronary artery, MCA)。存在心肌桥可增加冠状动脉斑块形成的概率,且心肌桥与冠状动脉斑块发生的部位、斑块特征都有一定关系^[1]。冠状动脉管腔内对比度衰减梯度(transluminal attenuation gradient, TAG)是冠状动脉腔内放射衰减与距离之间的线性回归系数,即自冠状动脉开口处每 10 mm 单位长度间隔 CT 值的变化量,可以反映冠状动脉内血流动力学信息,观察管腔内对比度衰减的变化可以提供管腔内血流储备的信息^[2-3]。冠状动脉造

影是冠心病诊断的金标准,但其具有创伤性,且操作复杂^[4]。宽体探测器 CT 可以对整个冠状动脉树进行成像,对冠状动脉伸入心肌的深度判断更为准确,对心肌桥的诊断具有优势^[5]。心肌桥多发于前降支^[6],笔者采用宽体探测器 CT 获取的冠状动脉 TAG 值评估合并心肌桥前降支血流动力学与冠状动脉粥样硬化之间的关系,为临床筛选需要干预的心肌桥患者并预防斑块形成提供依据。

资料与方法

一、临床资料

回顾性分析 2017 年 6 月至 2018 年 3 月上海交通大学医学院附属仁济医院符合以下标准的患者。纳入标准:行冠状动脉 CTA 检查结果为前降支心肌

桥。排除标准:(1)有冠状动脉支架或旁路移植术史;(2)冠状动脉完全阻塞;(3)冠状动脉广泛钙化(钙化长度 ≥ 5 mm);(4)有高血压、糖尿病、高脂血症、糖尿病史;(5)有吸烟史或冠状动脉粥样硬化家族史;(6)图像质量不佳,不能用于分析。

198例前降支心肌桥患者纳入研究,男112例,女86例;年龄(59.6 ± 10.3)岁,男性患者年龄(57.9 ± 10.6)岁,女性患者年龄(61.8 ± 9.5)岁。

二、CT检查方法

所有患者均于检查前48 h停止服用除 β -受体阻滞剂以外的其他治疗心血管病的药物,检查前1 h监测心率,如心率 >75 次/min,予 β -受体阻滞剂控制心率。将18 G静脉留置针置于肘正中静脉用于注射对比剂。

所有CT扫描均采用同一台日本Aquilion One Vision完成。准直器宽度 320×0.5 mm,层厚0.50 mm,层间距0.25 mm,旋转时间为275 ms/周,时间分辨率137.5 ms,管电压100~135 kV,管电流400~600 mA,均采用剂量自动调制。采用Agatston法计算患者的钙化积分^[7]。增强扫描使用双管高压注射器经肘正中静脉以4.0~6.0 ml/s流率注入对比剂钆双胺(含碘350 mg/ml)40~60 ml,随后以相同流率注入生理盐水30 ml,具体参数根据患者体重指数决定^[8]。扫描范围自气管分叉处至膈顶,采用对比剂跟踪技术触发扫描,ROI置于降主动脉,触发阈值为300 HU。所有患者均采用前瞻性心电图门控,若患者心率 ≤ 75 次/min,扫描时间窗设定为70%~80% R-R间期的单扇区重建,反之则选取35%~55% R-R间期多扇区重建。

三、图像处理与分析

所有采集的图像均传至Vitre Version 6.7.2图像后处理工作站,并选择最佳时相进行重建分析。由5名具有3年以上冠状动脉CTA诊断经验的放射科医师以血管为单位,对肌桥厚度、肌桥长度、斑块体积进行测量,并达成一致意见。重建图像包括轴面、横截面、曲面、多平面重组和容积再现图像。在轴面及横截面上冠状动脉走行于心肌中定义为心肌桥,心肌桥长度定义为在最佳曲面图像上自开口至出口的距离,心肌桥厚度定义为在横截面图像上动脉外侧壁至心肌外膜的最大距离,将厚度 ≥ 2 mm的心肌桥归为深埋型心肌桥, < 2 mm归为浅表型心肌桥^[9]。每例患者冠状动脉测量前均完成血管中心线检测,如有必要进行手动修改。选择钙化积分图像进行斑块体积测量,并按照有无硬化斑块将患

者分为孤立性心肌桥组及心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块组,同时记录心肌桥与斑块发生位置。

四、TAG测量

TAG是管腔内某点的对比度与从冠状动脉开口处到该点的距离之间的线形回归系数^[10]。在横截面图像上,手动放置ROI,将其置于管腔中心,ROI面积为1 mm²,测量时尽量避开钙化区域,自冠状动脉开口至肌桥开口每间隔5 mm测量管腔内平均CT值,计算线性回归系数,即桥前TAG值;自桥后至血管远端每间隔5 mm测量管腔内平均CT值直至横截面血管面积 < 1 mm²,计算线性回归系数,即桥后TAG值。TAG值以HU/mm为单位。K比值为桥前TAG值与桥后TAG值的比值。

五、统计学方法

采用SPSS 20.0软件进行统计学分析。Kolmogorov-Smirnov检验计量资料是否符合正态分布,正态分布的资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,偏态分布的资料以中位数(上、下四分位数)表示。采用独立样本 t 检验(正态分布)或Mann-Whitney U 检验(偏态分布)比较不同组间计量资料数据的差异,采用 χ^2 检验比较不同组间计数资料的差异。采用Pearson相关性检验分析桥前TAG值、桥后TAG值、K比值、肌桥厚度、长度与斑块体积的相关性,并采用二元logistic回归分析上述指标对斑块发生的影响程度。采用ROC分析主要影响指标与斑块形成的关系。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、患者一般情况

孤立性心肌桥99例,心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块99例;心肌桥类型为浅表型27例,深埋型171例;心肌桥发生部位为前降支中段192例、前降支近段4例、前降支远段2例;粥样硬化斑块均发生于桥前,斑块平均体积(91.6 ± 83.0)mm³。孤立性心肌桥组和心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块组患者的性别构成、年龄、身高、体重和体重指数差异均无统计学意义(表1)。

二、桥前TAG值、桥后TAG值及K比值

孤立性心肌桥组和心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块组患者的桥前TAG值差异有统计学意义,而桥后TAG值和K比值差异无统计学意义;浅表组与深埋组患者的桥前TAG值、桥后TAG值及K值差异均无统计学意义(表2)。

表1 有无斑块组患者的一般情况比较结果

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	身高 (cm, $\bar{x} \pm s$)	体重 (kg, $\bar{x} \pm s$)	体重指数 ($\text{kg}/\text{m}^2, \bar{x} \pm s$)
		男	女				
孤立性心肌桥组	99	60	39	59.68±10.37	169.16±5.96	71.24±9.86	24.85±2.75
心肌桥合并冠状动脉粥样硬化斑块组	99	52	47	59.53±10.29	168.57±7.49	72.37±12.22	25.39±3.39
检验值		1.316 ^a		0.103 ^b	0.619 ^b	-0.713 ^b	-1.227 ^b
P值		0.251		0.918	0.536	0.477	0.221

注:^a: χ^2 值;^b:t值

表2 各组桥前TAG值、桥后TAG值及K比值比较结果[中位数(上、下四分位数)]

测量指标	心肌桥分组							
	孤立性心肌桥组(99例)	合并斑块组(99例)	Z值	P值	浅表组(27例)	深埋组(171例)	Z值	P值
桥前TAG值(HU/mm)	-12.9(-30.6, 6.3)	-16.0(-41.3, -2.6)	-2.003	0.045	-14.5(-37.3, 2.1)	-16.0(-37.2, 6.5)	-0.009	0.993
桥后TAG值(HU/mm)	-26.6(-49.8, -3.3)	-23.0(-43.9, -2.4)	-0.629	0.529	-2.28±3.35 ^a	-3.66±3.67 ^a	1.964 ^b	0.051
K比值	0.36(-0.48, 0.71)	0.31(-0.49, 1.28)	-0.482	0.629	3.5(-5.2, 11.9)	2.7(-2.4, 6.5)	-0.746	0.455

注:TAG:对比度衰减梯度;K比值:桥前TAG值与桥后TAG值的比值;^a: $\bar{x} \pm s$;^b:t值

三、肌桥厚度、长度、桥前TAG值、桥后TAG值、K比值与斑块体积的相关性

斑块体积和桥前TAG值、桥后TAG值及K比值间存在弱负相关(r 值分别为-0.205、-0.316、-0.339, P 值均 <0.05);肌桥厚度(1.61 ± 0.64)mm及长度(29.64 ± 22.03)mm与斑块体积不具有相关性(P 均 >0.05)。

四、肌桥厚度、长度、桥前TAG值、桥后TAG值、K比值对斑块发生的影响程度

桥前TAG值显著影响斑块形成($P=0.014$),优势比为0.884(95%可信区间为0.801~0.976),而其他因素与斑块形成无显著影响(表3)。

表3 各CT测量指标对斑块发生的影响

测量指标	优势比(95%可信区间)	P值
肌桥厚度	0.698(0.436~1.119)	0.135
肌桥长度	1.005(0.994~1.018)	0.368
桥前TAG值	0.884(0.801~0.976)	0.014
桥后TAG值	1.062(0.972~1.159)	0.182
K比值	1.016(0.966~1.069)	0.530

注:TAG:对比度衰减梯度;K比值:桥前TAG值与桥后TAG值的比值

桥前TAG值促进斑块形成的ROC下面积为0.582,当诊断临界值设为-37.26 HU/mm时,桥前TAG值导致斑块形成的敏感度和特异度分别为31.31%和81.82%(图1)。

讨论

心肌桥一般认为是一种冠状动脉解剖变异,其

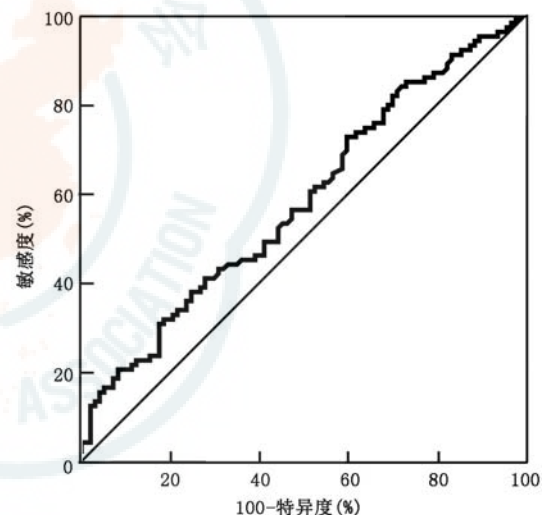


图1 桥前对比度衰减梯度(TAG)预测斑块形成的ROC。曲线下面积为0.582,以-37.26 HU/mm为临界值时,桥前TAG值导致斑块形成的敏感度和特异度分别为31.31%和81.82%

特点是壁冠状动脉收缩期管腔受到挤压变窄甚至闭塞,舒张期可恢复正常。长期以来,心肌桥-壁冠状动脉与动脉粥样硬化的关系一直是业内研究的热点。存在心肌桥冠状动脉发生斑块与肌桥的位置、深度、壁冠状动脉的形态结构等因素都有一定的关系^[11-12],但是心肌桥如何影响所在冠状动脉内血流动力学变化导致斑块形成的机制并不清楚。本研究中,笔者采用宽体探测器CT对冠状动脉成像测量冠状动脉管腔内TAG值发现,存在心肌桥冠状动脉前降支的斑块组桥前TAG值低于无斑块组,肌桥前、后TAG值均与斑块体积呈弱负相关,尽管桥后TAG值在深埋组和浅表组中差异无统计

学意义,但是存在深埋组大于浅表组的趋势。以上结果表明,心肌桥是影响冠状动脉管腔内TAG值变化的重要因素,在影响冠状动脉内血流动力学促进冠状动脉斑块形成中起重要作用,对于前降支存在深肌桥的患者,若桥前TAG值为 -37.26 HU/mm发生斑块的概率明显增加,临床需要密切关注并及时干预。

本研究结果显示,斑块组桥前TAG值低于无斑块组,且深埋组桥后TAG值有明显大于浅表组的趋势,与Choi等^[2]发现TAG值随着血管狭窄严重程度的增加而减低的结果相一致。心肌桥近段压力增高,高于主动脉压力造成血流紊乱形成涡流,长期涡流冲击易形成邻近血管内皮受损^[13],说明血流动力学的改变与动脉粥样硬化的发生有着密切的关系,也解释了斑块组桥前TAG值与无斑块组桥前TAG值差异有统计学意义的原因。尽管浅表组与深埋组的桥前TAG、桥后TAG及K比值差异无统计学意义,提示肌桥厚度作为评判心肌桥血流储备的价值可能有限,这一结果与Hamon等^[14]的结果一致,也可能是由重建的时相不一致导致心肌桥不同程度动态收缩所造成,目前临床上以心肌桥厚度等解剖学参数是否可以评判心肌桥动态收缩引起血流储备障碍尚存在争议^[15-17]。

本研究中,斑块均发生于肌桥前段(100%, 99/99),而桥后段及壁冠状动脉内未发现斑块形成。Risse和Weiler^[18]的研究表明,壁冠状动脉内膜($66.3\ \mu\text{m}$)明显薄于近段动脉($406.6\ \mu\text{m}$)。组织学研究表明,壁冠状动脉内膜是由收缩型平滑肌细胞与大量螺旋形胶原间质组成,不存在合成型血管平滑肌细胞,这些合成型血管平滑肌细胞在动脉粥样硬化的过程中增生并产生胶原纤维和弹力纤维。根据已知的生理学表现,壁冠状动脉内膜收缩型平滑肌细胞的存在与合成型血管平滑肌的缺乏,降低了壁冠状动脉粥样硬化的发生^[3, 19]。

笔者发现,桥前TAG值、桥后TAG值及K比值均与斑块体积呈负相关,肌桥厚度及长度与斑块体积无相关性,且桥前TAG值是斑块发生的独立影响因素。万芸等^[20]报道,心肌桥会导致冠状动脉内血流储备异常及血流动力学异常,而TAG值作为一项冠状动脉血流信息相关的新型参数也已经被证明与血流储备分数及冠状动脉血流方向相关^[10, 21-22]。目前推测产生以上结果的原因如下:第一,心肌桥近段血管压力增高,压力高于主动脉压力时造成血流紊乱形成涡流,长期涡流冲击易形成

邻近血管内皮受损从而形成斑块^[13],同时心肌桥血流动力学的异常造成管腔内CT值随之变化,引起TAG值的变化。第二,前降支心肌桥引起血管内膜超微结构变化的研究结果显示,壁冠状动脉血管内皮细胞呈梭形排列紧密,并定期沿血流方向膨胀,即使到了老年也少出现脂质沉积与泡沫细胞,而心肌桥桥前血管、桥后血管内皮细胞排列均缺乏这样的规律性与紧密性,表明壁冠状动脉内膜受到高切应力,而心肌桥前、桥后血管内膜受到的切应力低。因为高切应力能使较少的脂质进入血管壁,而低切应力降低使内皮细胞有利于细胞增生与细胞黏附,同时使脂质容易大量通过动脉壁促进粥样硬化的发生^[23]。同时笔者发现,桥前TAG值对斑块形成的判断具有81.82%特异度,诊断界值 -37.26 HU/mm可以为临床对于心肌桥是否会引起的冠状动脉粥样硬化疾病提供一定的预测。

本研究的局限性在于,第一,尽管纳入冠状动脉心肌桥患者198例,但大多为浅表型,深埋型患者仅27例,因而会对研究结果会产生一定影响;第二,心肌桥患者斑块的形成与年龄存在一定的相关性^[12],本研究中未纳入年龄匹配的对照组,结果可能产生偏倚,但是本研究中斑块组与无斑块组患者年龄差异无统计学意义,因而在本研究中年龄不会对结果产生影响;第三,由于本研究是回顾性的,未对前降支深埋型患者进行随访,评估其桥前TAG值预测患支冠状动脉粥样斑块的发生发展情况,需要进一步通过设计前瞻性研究进行验证。

综上所述,心肌桥患者冠状动脉内血流动力学因素与该支血管形成动脉粥样斑块存在一定的相关性,桥前TAG值是深埋型心肌桥前降支斑块发生的独立危险因素,这一指标为临床预防和干预心肌桥患者发生冠状动脉粥样硬化提供了客观依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 杨扬. 冠状动脉CTA评估心肌桥形态特征、发生位置与冠状动脉粥样硬化的关系[J]. 中外医疗, 2016, (19): 194-195. DOI: 10.16662/j.cnki.1674-0742.2016.19.194.
- [2] Choi JH, Min JK, Labounty TM, et al. Intracoronary transluminal attenuation gradient in coronary CT angiography for determining coronary artery stenosis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2011, 4(11): 1149-1157. DOI: 10.1016/j.jcmg.2011.09.006.
- [3] Chow BJ, Kass M, Gagné O, et al. Can differences in corrected coronary opacification measured with computed tomography predict resting coronary artery flow[J]. J Am Coll Cardiol, 2011,

- 57(11):1280-1288. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.09.072.
- [4] 孙明利,吕滨,吴润泽,等. 冠状动脉造影和冠状动脉CT成像诊断冠心病的可重复性研究[J]. 中华放射学杂志,2012, 46(2):104-109. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2012.02.002.
- [5] 朱晓龙,杨飞,耿鹤群,等. 320排螺旋CT对心肌桥-壁冠状动脉的形态特征分析[J]. 中国临床医生杂志,2016,(3):66-68. DOI: 10.3969/j.issn.2095-8552.2016.03.023.
- [6] Möhlenkamp S, Hort W, Ge J, et al. Update on myocardial bridging[J]. *Circulation*,2002,106(20):2616-2622.
- [7] Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography [J]. *J Am Coll Cardiol*,1990,15(4):827-832.
- [8] 中华医学会放射学分会心胸学组,《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排CT临床应用指南写作专家组. 心脏冠状动脉CT血管成像技术规范应用中国指南[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(10): 732-743. DOI: 10.3760/j.issn.1005-1201.2017.10.004.
- [9] 王安明,史跃,朱丽丽,等. 双源CT冠状动脉血管成像评价心肌桥与冠状动脉粥样硬化性病变的关系[J]. 中国临床医学影像杂志, 2010, 21(8): 579-581. DOI: 10.3969 / j.issn.1008-1062.2010.08.016.
- [10] Berry JF, von Mering GO, Schmalfuss C, et al. Systolic compression of the left anterior descending coronary artery: a case series, review of the literature, and therapeutic options including stenting[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2002, 56(1): 58-63. DOI: 10.1002/ccd.10151.
- [11] 马淑华,黎叶芳,袁珠,等. 心肌桥-壁冠状动脉的形态学特征与冠状动脉近段粥样硬化病变的关系[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2018, (5): 578-580, 584. DOI: 10.3969 / j.issn.1674-4055.2018.05.17.
- [12] 赵瑞华,黄立雪,吴俊峰,等. CT冠状动脉血管成像判定心肌桥-壁冠状动脉形态学特征及其与冠状动脉粥样硬化病变关系[J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, (6): 41-43, 59. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2017.06.013.
- [13] Vanhoenacker PK, Heijenbroek-Kal MH, Van Heste R, et al. Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis[J]. *Radiology*, 2007, 244(2): 419-428. DOI: 10.1148 / radiol.2442061218.
- [14] Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, et al. Diagnostic performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography: a meta-analysis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2006,48(9):1896-1910. DOI: 10.1016/j.jacc.2006.08.028.
- [15] Meijboom WB, Van Mieghem CA, van Pelt N, et al. Comprehensive assessment of coronary artery stenoses: computed tomography coronary angiography versus conventional coronary angiography and correlation with fractional flow reserve in patients with stable angina[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2008, 52(8): 636-643. DOI: 10.1016 / j.jacc.2008.05.024.
- [16] Ko BS, Cameron JD, Meredith IT, et al. Computed tomography stress myocardial perfusion imaging in patients considered for revascularization: a comparison with fractional flow reserve[J]. *Eur Heart J*,2012,33(1):67-77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr268.
- [17] Koo BK, Erglis A, Doh JH, et al. Diagnosis of ischemia-causing coronary stenoses by noninvasive fractional flow reserve computed from coronary computed tomographic angiograms. Results from the prospective multicenter DISCOVER-FLOW (Diagnosis of Ischemia-Causing Stenoses Obtained Via Noninvasive Fractional Flow Reserve) study[J]. *J Am Coll Cardiol*,2011,58(19):1989-1997.
- [18] Risse M, Weiler G. Coronary muscle bridge and its relations to local coronary sclerosis, regional myocardial ischemia and coronary spasm. A morphometric study[J]. *Z Kardiol*, 1985, 74(12):700-705.
- [19] Steigner ML, Mitsouras D, Whitmore AG, et al. Iodinated contrast opacification gradients in normal coronary arteries imaged with prospectively ECG-gated single heart beat 320-detector row computed tomography[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(2): 179-186. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.109.854307.
- [20] 万芸,刘国清,周懂晶. 冠状动脉CTA评估心肌桥形态特征、发生位置与冠状动脉粥样硬化的关系[J]. 实用放射学杂志, 2011,27(6):871-875. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2011.06.013.
- [21] 郑志敏,徐根林,李维俭,等. 心肌桥对冠状动脉血流量的影响[J]. 上海交通大学学报(医学版),2006,26(2):166-168. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8115.2006.02.016.
- [22] Li Y, Yu M, Zhang J, et al. Non-invasive imaging of myocardial bridge by coronary computed tomography angiography: the value of transluminal attenuation gradient to predict significant dynamic compression[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(5): 1971-1979. DOI: 10.1007/s00330-016-4544-7.
- [23] Ishii T, Asuwa N, Masuda S, et al. Atherosclerosis suppression in the left anterior descending coronary artery by the presence of a myocardial bridge: an ultrastructural study[J]. *Mod Pathol*, 1991,4(4):424-431.

(收稿日期:2018-09-16)

(本文编辑:张晓冬)